Münster 1936 No 171 Med DiSS

Aus dem Hygienischen Institut der Westfälischen
Wilhelms-Universität zu Münster i. Westf.
Direktor: Professor Dr. Jötten.

Laboratoriumsversuche über die Abhängigkeit des Leistungsgrades einer Belebtschlammanlage von der Abwasserzusammensetzung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der ärztlichen Doktorwürde der

Hohen Medizinischen Fakultät der Westfälischen

Wilhelms-Universität zu Münster i. Westf.

vorgelegt von

Walter Korte

aus Kamen i. W.

1935

Druck von Hans Arnold
Leipzig O 5

Referent: Professor Dr. Sartorius

Korreferent: Professor Dr. Jötten

Dekan: Professor Dr. Klinge

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität
Münster (Westf.)

Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts infolge der Industrialisierung die Zusammenballung der Menschen auf engem Raume in immer weiter wachsenden Städten begann, wurde die Hygiene vor die große Aufgabe gestellt, die Abwasserfrage zu regeln. Bedingt durch die örtlichen Verhältnisse wurden verschiedene Wege beschritten. Städte, die in der Nähe vom Meere, größeren Seen oder Flüssen lagen, hatten die Möglichkeit, das Abwasser in diese hineinzuleiten. Falls die Verdünnung groß genug ist, tritt dann eine Säuberung durch Selbstreinigung ein, vor allem wenn mit Rechen oder Gittern durch Abfangen der groberen Teilchen eine vorhergehende mechanische Klärung erfolgt und durch Absitzbecken z. B. Emscherbrunnen eine Sedimentierung der suspendierten Substanzen ermöglicht wurde. Da aber Klagen über Verunreinigung der Flüsse und Seen immer wieder laut wurden, wurde eine vorhergehende Reinigung angestrebt, um die Flüsse nicht zu sehr zu überlasten. Man versuchte durch Zusätze von Chemikalien, welche als Niederschläge die suspendierenden Stoffe mit zu Boden reißen, eine Klärung des Abwassers zu erreichen. Bis zum Jahre 1923 hat z. B. Leipzig sein Abwasser mit Eisensulfat, schwefelsaurer Tonerde und Chlormagnesiumlauge behandelt. Aber wegen seiner Unwirtschaftlichkeit und da diese Behandlung klärtechnisch wie auch hygienisch den Anforderungen nicht mehr genügen konnte, wurde es überall aufgegeben. Nur die Chlorung wird noch dazu angewandt, um kleinere Vorfluter bis zum Einlauf in größere Vorfluter benutzen zu können. Für Städte, die keine geeigneten Vorfluter besaßen, hat sich aus dem Sandfilter- und Berieselungsverfahren das Rieselfeldverfahren entwickelt, daß sich bei Städten mit ländlicher Umgebung bis heute bewährt hat. Aber mit der Vergrößerung der Städte und dem Mangel an geeigneten Vorflutern ging die Entwicklung in der Richtung weiter, das vor allem für die Nachreinigung nach geeigneten Methoden geforscht wurde. Aus England stammen die ersten grundlegenden Arbeiten über die Nachbehandlung durch die biologische Reinigung. Erwähnt seien hier die Tropfkörper, Ärofilter und Tauchkörper, die ihre größte Verbreitung in England und Amerika gefunden haben. In Deutschland ist die Tropfkörperanlage in Stuttgart zu nennen, die mit vollem Erfolg arbeitet. Nur der nun beginnenden vorteilhaften Entwicklung

des Belebtschlammverfahrens ist es zuzuschreiben, daß diese biologischen Einrichtungen keine größere Verbreitung gefunden haben. Wenn auch die Frage der biologischen Reinigung des Abwassers keineswegs als abgeschlossen zu betrachten ist, wird aller Voraussicht nach die Belebtschlamm-Methode der Nachbehandlung des Abwassers die anderen Methoden verdrängen. Aber die früheren biologischen Anlagen werden keineswegs durch das Belebtschlammverfahren ersetzt werden, sie dürften vielmehr in Kombinationen mit diesem vielfach neue Bedeutung erlangen und wirtschaftlich ausgenutzt werden können. Vielleicht wird sich überhaupt eine Anlage von biologischen Körpern plus Belebtschlammverfahren als die geeignetste erweisen, da die biologischen Körper gegen eine plötzliche Änderung der Abwasserzusammensetzung nicht so empfindlich sind wie die Belebtschlamm-Methode und sich die beiden Verfahren so gut ergänzen. Die Vorteile des Belebtschlammverfahrens gegenüber den sonst gleichwertigen biologischen Reinigungsarten sind Geruchlosigkeit, Vermeidung der Fliegenplage, geringer Raumbedarf wie geringe Bau- und Betriebskosten und Vermeidung von Gefällverlusten, die bei Rieselfeldern und Tropfkörperanlagen eine große Rolle spielen.

Das Belebtschlammverfahren geht von der Feststellung aus, daß dann, wenn dem Abwasser ausreichend sauerstoffhaltige Luft zugeführt wird, Flocken entstehen, die bei Ruhigstellung sich absetzen. Wenn dieser Flockenschlamm nun wieder in frisches Abwasser gebracht wird, bewirkt er, daß die suspendierten Stoffe des Abwassers noch bedeutend stärker ausgeflockt werden. Fowler gelang es 1913 in Manchester, Abwasser nach 6stündiger Belüftung bis zur Fäulnisunfähigkeit zu reinigen. In seiner grundlegenden Arbeit beschrieb er den Vorgang als einen physikalisch-biologischen und die von ihm und seinen Mitarbeitern in den nächsten Jahren durchgeführten Versuche haben das Verfahren der Schlammaktivierung in der bis heute üblichen Form im wesentlichen bestimmt. In Amerika vor allem hat man sich um die weitere Erforschung des Vorganges bemüht. Philip Morley Parker faßte den Reinigungsprozeß mehr physikalisch auf: wie das Durchziehen eines Schwebefilters durch das Wasser an Stelle des Hindurchfließens vom Wasser durch ein Filter. Es hat sich aber gezeigt, daß der Vorgang unter sterilen Bedingungen unmöglich ist. Von Clark und seinen Mitarbeitern wurde mehr die biologische Theorie vertreten, der Schlamm wurde für ein durch biologisches Wachstum entstandenes Gebilde angesehen. Die Reinigung erfolgt dadurch, daß die Kleinlebewesen die organischen Stoffe aufnehmen und in eine lebende Masse der Flocken verwandelt werden. Nach Buswell besteht der aktivierte Schlamm aus einer schleimigen, den Spaltalgen Nostoc oder Merismopedia ähnlichen Grundmasse, woran Fadenbakterien und einzellige Bakterien eingebettet sind und worauf verschiedene Arten von Protozoen und Metazoen leben. Durch diese Lebewesen werden die organischen Stoffe aus den kolloiden und gelösten Zustand in einen solchen überführt, in dem sie durch Absetzen aus dem Wasser entfernt werden können.

Imhoff und Buswell fassen jetzt das Belebtschlammverfahren als eine verkürzte, künstliche Selbstreinigung auf. In großer Menge auf kleinem Raum zusammengedrängt wirken hier die gleichen Kleinlebewesen, die im Fluß oder See die Selbstreinigung bewirken. Durch die Tätigkeit dieser Lebewesen zusammen mit rein physikalisch-chemischen Kräften, worunter nach Aklin vor allem koagulativ, adsorptiv und absorptiv gerichtete Kräfte wirksam sind, tritt die Reinigung des Abwassers ein. In Laboratoriumsversuchen wurde in der neueren Zeit der Vorgang der Schlammaktivierung weiterhin untersucht. Wagner konnte feststellen, daß Protozoen bei der Abwasserreinigung eine wesentliche Rolle spielen. Er betrachtet die Protozoen als Bakterienfresser, deren Aufgabe es ist, das Bakterienwachstum auf das den optimalen Reinigungseffekt bedingend Maß herabzusetzen. Die Bakterien spielen bei der Reinigung die Rolle, daß sie die Schlammflocken von den absorbierten Stoffen befreien. Herb, Andersen und Harris Cockburn führten den biologischen Abbau mehr auf die Tätigkeit von Fermenten zurück.

Während die wissenschaftliche Forschung sich um eine Klärung des Vorganges der Schlammaktivierung bemühte, hat das Belebtschlammverfahren schon in der Praxis seine praktische Verwertbarkeit bewiesen. Trotzdem die ersten grundlegenden Arbeiten aus England stammen, fand das Verfahren seine bisher größte Verbreitung in Amerika. Da hier die Abwasserreinigung noch ziemlich im Argen lag und die plötzlich entstandenen Riesenstädte eine geeignete Nachreinigung des Abwassers erforderten, entstanden hier in Milwaukee, Indianapolis, Chesterfield, Princeton, Chikago die ersten größeren Anlagen, die von Chikago wird wohl noch die größte der Welt sein. In England wurden die ersten Anlagen in Manchester, Burg, Birmingham, Glasgow gebaut. Man benutzte hier aber nicht wie in Amerika zur Lufteinblasung Preßluft, sondern wandte mehr das Sheffielder-Paddelsystem und das Simplexverfahren nach Bolton an. Nach dem Kriege fing man auch in Deutschland an, sich mit diesem neuesten Verfahren der Abwasserreinigung zu beschäftigen und baute einige Versuchsanlagen, die bedeutendste entstand wohl in Essen-Rellinghausen, die sich bis heute recht gut bewährt hat. Sie beseitigt Abwässer von 45000 Personen in einwandfreier Weise. Es wurde mechanisches Rührwerk mit Kompressionsluft angewandt. Bis zum Jahre 1931 wurden die Abwässer der Stadt Erfurt nur mechanisch geklärt, die nun gebaute Belebtschlammanlage zur Nachreinigung arbeitet auch hier mit vollem Erfolg. Belüftung geschieht hier durch Paddelräder, Belüftungszeit $4^1/_2$ Stunden. In Iserlohn i. W. hat man die erste Schlammbelebungsanlage mit Schlammgasantrieb gebaut. Zur mechanischen Vorreinigung dienen ein Grobrechen, zwei Regenwasserklärbecken, ein Sandfang und 6 Emscherbrunnen. In zwei Belüftungsbecken wird von der Sohle aus durch Filterplatten gelüftet, außerdem sind noch zwei Röhrwerke eingebaut. Da das Abwasser oftmals stark angefault erscheint, wurde eine Tauchkörperanlage vorgeschaltet. Der Überschußschlamm wird im Faulraum

zur Speisung des 25 PS-Gasmotors weiter behandelt, der sämtliche Maschineneinrichtungen betreibt und die Druckluft liefert. Die wirtschaftliche Verwertbarkeit des Überschußschlammes wird weiter unten noch besonders erwähnt. In Berlin entsteht jetzt die erste größere Anlage in Deutschland, um die vorhandenen Rieselfelder zu unterstützen.

Die bisher gemachten Erfahrungen mit dem Belebtschlammverfahren haben gezeigt, daß genau wie bei den anderen Verfahren sorgfältigste Überwachung notwendig ist. Bevor man größere Anlagen baut, ist es erforderlich, sich in Versuchsanlagen über folgende Punkte Klarheit zu verschaffen: Art und Konzentration des Abwassers vor allem die chemischen Einflüsse, Belüftungszeit, wie die geringste Luftmenge, die zum gewünschten Reinigungsgrade erforderlich ist, die beste Methode zur Lufteinführung, die Form des Lüftungsbeckens, die geeignete Umwälzungsgeschwindigkeit des Wassers zur Verhinderung der Schlammablagerung, die anzuwendende Schlammenge und die Verwendung des Überschußschlammes. Die Reinigung des Abwassers in einer Belebtschlammanlage geht dann so vonstatten, daß nach einer unbedingt notwendigen Vorreinigung durch Grobrechen und Sandfang das Abwasser in das Lüftungsbecken gelangt, welches sich in seinem Bau nach dem angewendeten Lüftungsverfahren richtet. Folgende Belüftungsverfahren seien hier erwähnt:

1. Diffusionverfahren (Preßluftverfahren),
2. Diffusionsverfahren mit Wasserumwälzung, mittels Ablenkplatten nach Hurd,
3. das Zusatzluftverfahren (Sparluftverfahren nach Imhoff-Fries-Sierp-Essen-Rellinghausen),
4. das Paddelräderverfahren nach Haworth,
5. das Wurfkreiselverfahren nach Bolten,
6. feststehende Luftumwälzer (Kremer Luftumwälzer),
7. das Oberflächenbelüftungsverfahren nach Kessner.

Aus dem Lüftungsbecken fließt das behandelte Abwasser mit dem aktivierten Schlamm in ein Absetz- oder Nachklärbecken, von wo dann der Abfluß, das gereinigte Wasser, erfolgt. Ein Teil des Absetzschlammes wird als Rücklaufschlamm wieder dem Lüftungsbecken zugeführt, wo er mit frischem Abwasser vermischt wird, während der übrige Schlamm als Überschußschlamm zurückbleibt. Die wirtschaftliche Verwertung dieses Überschußschlammes ist ein noch nicht geklärter Punkt im Belebtschlammverfahren. Die erste Methode war wohl die, möglichst viel Schlamm zu gewinnen, um ihn nach chemischer Behandlung und Trocknung als Dünger in den Handel zu bringen. Auf einigen amerikanischen Anlagen (Milwaukee und Des Plaines) wurde dies auch versucht, aber heute, wo der Stickstoff aus der Luft billiger gewonnen werden kann, werden derartige Anlagen kaum rentabel sein können. Auf den meisten englischen Anlagen wird der Schlamm deshalb einfach in die Erde gepunmpt und sich selbst überlassen. Nach einer anderen Methode wird der Überschußschlamm zusammen mit dem Schlamm der Vorreinigung im Absetzbecken ausgefault.

Imhoff hat auf der Versuchsanlage in Essen-Rellinghausen auf diese Art genügend Faulgas gewonnen, um den Motor zu treiben, der zur Erzeugung der benötigten Druckluft diente. Die schon erwähnte Anlage in Iserlohn bekräftigt die von ihm empfohlene Methode. In Birmingham wie in Chikago wird dieses Faulgas auch schon in größerem Ausmaße verwandt.

Die Arbeit einer Belebtschlammanlage ist im höchsten Maße von der Art und Konzentration des Abwassers abhängig. Je dichter und konzentrierter das Abwasser ist, desto länger muß es belüftet werden und desto mehr Rücklaufschlamm muß angewandt werden. Allerdings können sich diese beiden Faktoren in gewisser Weise ergänzen, denn es hat sich gezeigt, daß bei der Verwendung einer geringeren Schlammenge länger belüftet werden muß, während umgekehrt bei größerer Schlammzugabe die Belüftungszeit geringer ist. Wie schon eingangs beschrieben wurde, muß das Abwasser eine gewisse Zeit bewegt und belüftet werden, um eine Flockenbildung zu ermöglichen. Da der Sauerstoffbedarf der äroben Bakterien ein ziemlich geringer ist, wird bei genügender Bewegung des Abwassers aus der Luft ausreichend Sauerstoff zugeführt. Aus dieser Tatsache entwickelten sich die jetzt gebräuchlichsten Belüftungsverfahren, die sich hauptsächlich in zwei Methoden trennen: die eingeführte Preßluft führt O_2 zu und sorgt für genügende Bewegung, während bei den anderen Verfahren (Paddelräder usw.) durch die Bewegung direkt schon das Sauerstoffbedürfnis der Bakterien erfüllt wird. Die in der Literatur angegebenen Belüftungszeiten schwanken zwischen $3^1/_2$—18 Stunden und zeigen damit, wie sehr die Belüftungszeit vom Abwasser abhängig ist. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus muß eine kurze Belüftungszeit verlangt werden, da sonst die Unterhaltungskosten zu hoch werden. Man kann aber nicht durch längeres Belüften einen gewünschten absoluten Reinigungsgrad erzielen, da nach gewisser Zeit ein Reinigungsoptimum erreicht wird. Eine weitere Belüftung ist zwecklos und kann durch eine Wiederzerstörung der Flocken sogar zur Verschlechterung des Reinigungsgrades führen, ebenso wie durch zu starke Bewegung des Abwassers die Flocken zerstört werden. Ungefähr 25% des Absetzschlammes werden gewöhnlich als Rücklaufschlamm benutzt, in der Literatur sind Mengen 1:5 bis 1:10 genannt. Durch eine plötzliche Änderung der Abwasserzusammensetzung kann eine Reinigung unmöglich werden. Von größter Bedeutung sind deshalb die industriellen Zuflüsse. Schon beim Vorhandensein geringer Mengen gewerblicher Abwässer können Stoffe vorhanden sein, welche die äroben Bakterien und andere Lebewesen abtöten und dadurch die Arbeit einer Belebtschlammanlage in Frage stellen. In der Praxis wurde bald die Wichtigkeit der chemischen Zusammensetzung des Abwassers erkannt. Durch saure oder alkalische Zuflüsse kann die Wasserstoffionenkonzentration im Abwasser verschieden gestaltet werden. Übereinstimmend werden als die geeignetsten P_h Werte 7—7,6 angegeben, also bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion wurde das beste Arbeiten einer Anlage festgestellt. Viehl untersuchte in drei Ver-

suchsanlagen zu Leipzig den Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration und konnte beweisen, daß innerhalb eines Ph Wertes von 5,0—9,5 mit befriedigendem Erfolge gearbeitet wurde. Bei Ph 4,5 wurden die Lebewesen stark geschädigt und die Wirkung ließ sehr nach. Versuche von Seiser zeigen ebenfalls, daß bei schwach alkalischer Reaktion (Ph 7,5) keine nennenswerten Verluste entstehen.

Es hat sich ferner gezeigt, daß Abwässer, welche mit geringen Mengen Chlor behandelt wurden, die keineswegs zur völligen Sterilisierung des Abwassers ausreichten, doch schon zur Hemmung des aktivierten Schlammes führen. H. D. Bell hatte gute Erfolge mit Chlorbehandlung bei stark angefaultem Abwasser, die Zahl der Anäroben wurde vermindert, die der Äroben vermehrt. Abwässer, die eine gewisse Menge von Eisenverbindungen enthalten, wie von Milwaukee bekannt ist, scheinen den Reinigungsprozeß zu fördern. Wolmann hält das Eisen für ein gutes Ausfällmittel und einen brauchbaren Katalysator. Seiser kam auch zu der Feststellung, daß Eisenzusätze keinen hemmenden Einfluß ausüben, sondern daß eine rasche und bessere Reinigung auftrat. In weiteren Versuchen konnte er feststellen, daß Salzgehalt unter etwa 0,9 % den Aktivierungsprozeß nicht stört. In der Praxis hat sich gezeigt, daß Zuflüsse phenolhaltigen Wassers nicht schädlich sind, sofern die Abwassermenge nicht mehr als ca. 3 % der Gesamtwassermenge beträgt. In der Versuchsanstalt zu Waldenburg machte Dr. G. Jordan Untersuchungen mit Phenolwasser. Diese Versuche ergaben, daß es möglich ist, bis zu einem gewissen Grade etwa 10 % mit Phenol beladene Abwässer zu reinigen. Weiterhin wurde dort versucht, ob durch Kohleteilchen mechanisch verunreinigtes Abwasser der Klärung mit belebtem Schlamm zugänglich wäre. Der Ablauf war aber nach 12stündigem Betriebe trübe und von grau-schwarzer Farbe, also ein Teil des Kohleschlammes hatte die Anlage unverändert passiert. Andererseits besserte sich die Absatzfähigkeit ganz erheblich, war aber nur von vorübergehender Natur. Kohleteilchen können also zur Beschwerung zu leichten Schlammes wohl dienen, doch geht nach dem Aufhören des Zusatzes die Wirkung rasch zurück und eine dauernde Besserung der Absitzfähigkeit ist nicht zu erreichen.

Natürlich wird der Gang der wissenschaftlichen Erforschung des Belebtschlammverfahrens dahin drängen, daß in Zukunft noch weit eingehender die hemmenden und fördernden Einflüsse bei dem Verfahren untersucht werden müssen. Die wichtigsten Punkte sind:

1. Die verschiedenartige Zusammensetzung des Abwassers,
2. die Frage der technischen Belüftung und ferner die zweckmäßige Anlage,
3. die Förderung der Wirkung durch besondere Maßnahmen. Die nun folgenden Untersuchungen geben neues Material zum 1. und 3. Punkt.

Es galt zunächst eine Versuchsanordnung zu schaffen, die einen einwandfreien Vergleich zwischen zwei Abwasserproben gestattete. Im hiesigen Institut befand sich folgende Untersuchungseinrichtung.

In zwei gleich geformten 5 Liter-Aquarien waren Schaufelräder eingebaut, die an einem Motor angeschlossen waren und pro Minute 10—15 Umdrehungen machten. So konnte eine bestimmte Menge Abwasser bewegt und genügend gelüftet werden. Das zu untersuchende Abwasser wurde von der Pumpstation der Stadt Münster herbeigeholt. Es setzte sich fast nur aus häuslichen Abwässern und Regenwasser zusammen, war in seiner Konzentration also von der Jahreszeit abhängig. Die Einarbeitung geschah nun so, daß tagsüber Abwasser in den Aquarien bewegt wurde. Bei Ruhigstellung senkten sich die gebildeten Flocken zu Boden, wurden gesammelt und bis zur weiteren Verwendung als Impfschlamm durch Preßluft gelüftet und bewegt. Eines der beiden Aquarien wurde weiterhin mit dem gesammelten Impfschlamm versetzt, bald wurden die Flocken voluminöser, und man konnte eine bessere Reinigung gegenüber dem Kontrollgefäß feststellen. Mit dem überstehenden gereinigten Abwasser wurden folgende Wasseruntersuchungen gemacht, um den Reinigungsgrad der beiden Versuchsgefäße vergleichen zu können.

1. Fäulnisprobe mit Methylenblau nach Spitter und Weldert.
2. Bestimmung des Kaliumpermanganatverbrauchs nach Kubel-Thiermann.
3. Bestimmung des Gesamtstickstoffs nach Dr. Kowarsky.
4. Vergleichsbestimmung mit Diphenylaminschwefelsäure auf Nitrate.

Die Einarbeitung im Verlauf von 8 Tagen ergab:

Gefäss I, welches mit dem gesammelten Impfschlamm versetzt wurde.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	$1^1/_2$	35,8	12,5	0
2	4	24,4	10,8	1,0
3	$4^1/_2$	14,4	6,3	1,5
4	3	16,5	5,2	1,5
5	$3^1/_2$	23,7	9,5	1,0
6	6	14,9	8,6	2,0
7	nach 6 nicht entf.	14,4	7,1	1,5
8	nach 6 nicht entf.	15,1	7,8	2,0

Gefäss II, als Kontrollgefäß.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	$1^1/_2$	36,9	13,1	0
2	$2^1/_2$	28,7	12,5	0,5
3	2	21,7	7,7	0,5
4	$1^1/_2$	24,6	6,1	0,5
5	1	32,4	11,6	0
6	$2^1/_2$	23,8	13,8	0,5
7	2	22,7	12,5	0,5
8	2	25,6	12,6	0,5

Die obigen Untersuchungen zeigen, daß in dem Gefäß I, welches fortlaufend mit dem gesammelten Impfschlamm versetzt wurde, ein sich immer mehr steigernder Reinigungsgrad erzielt wurde. Die $KMnO_4$ Verbrauchsbestimmung ergab am zweiten Tag eine Differenz von 15 %, steigerte sich in den nächsten Tagen bis zu 30 %, am 6. und 7. Tag betrug sie 37 % und am 8. Tag 41 %. Die Reststickstoffbestimmung zeigte fast den gleichen Unterschied in der Reinigungsleistung. Er betrug am 2. Tag 14 %, am 3. Tag 21 % und in den letzten drei Tagen 38 %, 43 %, 39 %. Auch die Vergleichsbestimmung mit Diphenylaminschwefelsäure auf Nitrate unterstrich die bessere Reinigungsleistung. Während bei der Versuchsreihe in dem Kontrollgefäß nur bis zu 0,5 mgr Nitrate pro Liter nachgewiesen werden konnten, betrugen sie in dem mit Impfschlamm behandelten Gefäß I am 2. Tage 1 mgr. pro Liter und steigerte sich bis zu 2 mgr pro Liter. Nach der angegebenen Fäulnisprobe war das Kontrollgefäß II bei den Versuchen nach $1^1/_2$—2 Stunden entfärbt, Gefäß I dagegen war am 2. Tag erst nach 4 Stunden entfärbt, ab 6. Tag trat bis zu 6 Stunden keine Entfärbung mehr auf. Bei den ersten Versuchen schwankte die Belüftungszeit zwischen 4—10 Stunden, bei den letzten drei Versuchen wurde eine konstante Belüftungszeit von 6 Stunden beibehalten.

Die bei der bisherigen Einarbeitung angewandte Methode entsprach nun insofern noch nicht der gebräuchlichen Form der Anwendung des Belebtschlammverfahrens, da dabei ja immer nur ein Teil des gebildeten Schlammes zur weiteren Impfung benutzt wird. Weitere Vorversuche sollten zeigen, welche Teilmenge zur Erzielung eines ausreichenden Reinigungseffektes genügen würde. Es konnte festgestellt werden, daß mit $^1/_4$ der Menge Schlamm genau dieselbe Leistung erzielt werden konnte wie mit der ganzen Menge. Geringere Mengen führten zu einer immer weiteren Verschlechterung. Belüftungszeit war 6 Stunden. 980 ccm belebter Schlamm war bisher gesammelt worden. Die Versuche wurden nun so ausgeführt, daß zunächst Gefäß I mit $^1/_4$ des gesamten Impfschlammes versetzt wurde, während dem Kontrollgefäß die übrige Menge zugegeben wurde.

Gefäss I.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 6 nicht entf.	13,6	5,7	1,0

Gefäss II.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 6 nicht entf.	13,8	6,1	1,0

Bei Zugabe von $^1/_8$ der Menge Impfschlamm trat schon eine Schä-

digung in der Reinigung auf, die dann bei Zugabe von $^1/_{16}$ der Menge schon erheblich wurde.

Gefäss I, bei $^1/_8$ der Menge.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 6 nicht entf.	14,6	7,7	1,0
	bei $^1/_{16}$ der Menge:			
2	nach 6 nicht entf.	28,4	11,2	0,5
Gefäss II (Kontrollgefäß)				
1	nach 6 nicht entf.	12,9	7,2	1,0
2	nach 6 nicht entf.	11,3	7,7	2,0

Also um in der Versuchsanlage 5 Liter Abwasser zu reinigen, waren für das untersuchende Abwasser mindestens 250 ccm gut arbeitender belebter Schlamm notwendig. Wie schon eingangs erwähnt, nimmt man in der Praxis gewöhnlich größere Mengen.

Bei den bisher geschilderten Einarbeitungsversuchen war zunächst rein empirisch eine Belüftungsdauer von 6 Stunden eingehalten worden. Der folgende Versuch sollte ergeben, welche Belüftungszeit für die weiteren Versuche notwendig war. Es zeigte sich, daß bei der gleichen Menge Impfschlamm nach 5 Stunden eine bessere Leistung erzielt wurde als nach 3 Stunden Belüftung.

Gefäss I, 300 ccm Impfschlamm nach 5 Stunden Belüftung.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 14 nicht entf.	14,0	6,3	1,5
Gefäss II, 300 ccm Impfschlamm nach 3 Stunden Belüftung.				
1	nach 14 nicht entf.	16,8	9,5	1,0

Es wurde schon betont, daß Impfschlammenge und Belüftungszeit stark von der Beschaffenheit des Abwassers abhängig ist und sich in gewisser Weise vertreten können. Um deshalb Schwankungen in der Konzentration des Abwassers ausgleichen zu können, wurde hier mit einer Belüftungszeit von 6 Stunden gearbeitet und mindestens 300 ccm aktivierter Schlamm zugegeben. Denn bei den weiteren Fragestellungen kam es ja nicht so sehr auf den Endeffekt als auf den Vergleich der Leistung an und so genügte es, empirisch ein günstiges Verhältnis von Impfschlammenge und Belüftungszeit herauszuarbeiten.

Aus den schon geschilderten Erfahrungstatsachen über das Arbeiten von Belebtschlemmanlagen unter verschiedenen Bedingungen wurde zunächst die Frage nach dem Einfluß der P_H auf die Reinigungsleistung unter den gegebenen Bedingungen nochmals aufgegriffen. Bei welchem P_H Wert die Versuchsanlage am besten arbeiten würde, soll im folgenden geprüft werden.

Wie die meisten Abwässer hatte das zu untersuchende Abwasser einen Ph Wert von 7,3 oder 7,4, war also schwach alkalisch. Die Versuchsapparatur wurde nun so eingerichtet, daß Gefäß I fortan die Zusätze erhielt, während Gefäß II als Kontrollgefäß arbeitete und für die nächsten Versuche den Impfschlamm lieferte.

Zunächst wurde in einer Versuchsreihe durch Zugabe von NaOH die Arbeit der Anlage bei alkalischer Reaktion des Abwassers geprüft.

Gefäß I werden 24 ccm $NaOH^2/_n$ zugegeben, bis Ph 8 erreicht wurde. Nach der Belüftung war das überstehende Wasser noch leicht getrübt, die Ph war auf 7,6 zurückgegangen, das Kontrollgefäß zeigte vollkommene Reinigung.

Gefäss I Ph 8,5.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach $3^1/_2$ entfärbt	28,8	9,4	0,5
Gefäss II Ph 7,3.				
1	nach 14 nicht entf.	18,7	6,1	2,0

Ph 8,8 nach Zugabe von 41 ccm $NaOH^2/_n$; Phenolphtalein und Lakmus stark positiv, nach der Belüftung Ph 8,5, es setzt sich kaum noch Schlamm ab, der ganz feinflockig erscheint. 350 ccm Impfschlamm waren bei diesem Versuch zugesetzt und nur 115 ccm braun verfärbter Schlamm können noch gesammelt werden. Abwasser ist schmutzig braun verfärbt.

Gefäss I Ph 8,8.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach $1^1/_2$ entfärbt	34,1	9,7	0
Gefäss II Ph 7,4.				
1	nach 6 nicht entf.	19,8	4,1	1,5

Mit steigendem Ph trat eine Verschlechterung der Leistung ein, der Schlamm setzte sich schlechter ab und das überstehende Wasser machte einen unbehandelten Eindruck. Bei Ph 8 arbeitete die Anlage noch mit befriedigendem Erfolg, aber die Reinigung war nicht so vollkommen wie im Kontrollgefäß. Das Optimum des Bakterienwachstums wird bei etwa Ph 8 überschritten, außerdem treten durch die alkalische Reaktion Quellungserscheinungen der organischen Substanzen ein, welche die Flocken auflockern und zerstören und das schlechte Absetzen bedingen.

In weiteren Versuchen wurde dem Versuchsgefäß HCl zugesetzt. Beim ersten Versuch wurde solange HCl zugegeben, bis Ph 7 erzielt worden war. Wie die folgende Wasseruntersuchung beweist, war das Abwasser im Versuchsgefäß noch besser gereinigt als im Kontrollgefäß.

Gefäss I Ph 7.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 14 nicht entf.	12,4	3,4	0,5
Gefäss II Ph 7,4.				
1	nach 14 nicht entf.	15,3	4,6	0,5

Im anschließenden Versuch wurde HCl bis zum Ph 6 zugegeben. Sofort fällt ein Niederschlag nieder, das Wasser sieht klar aus; aber nach der Belüftung war das überstehende Wasser bräunlich getrübt und die Flocken waren ganz feinflockig. Als in einem weiteren Versuch mit Ph 5 gearbeitet wurde, wurden die Flocken vollkommen aufgelöst, nach der Belüftung war kein Unterschied gegenüber frischem Abwasser festzustellen, allerdings war es infolge Hemmung der Fäulnisvorgänge durch die Säure geruchlos.

Gefäss I Ph 6 (nach Belüftung 6,4).

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 7 nicht entf.	25,6	15,6	0,5
	Ph 5 (nach Belüftung 5,7).			
2	nach 26 nicht entf.	31,7	11,4	0,5
Gefäss II Ph 7,3.				
1	nach 7 nicht entf.	12,4	8,3	1,5
	Ph 7,4.			
2	nach 26 nicht entf.	13,3	5,8	2,0

Der beste Reinigungsgrad wurde bei einem Ph Wert von 7 erzielt; bei niedrigerem Ph wurden durch Fällung der Eiweißsubstanzen die Flocken zerstört. Bei Ph 6 war noch feinflockiger Schlamm vorhanden, während bei Ph 5 der Impfschlamm wieder aufgelöst wurde. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß neutrale bis leicht alkalische Reaktionen des Abwassers die günstigste Wasserstoffionenkonzentration für das Belebtschlammverfahren darstellen.

Eine weitere Versuchsreihe galt dem Einfluß von Salzen, die aus dem Bergbau oder der chemischen Industrie in gewissen Konzentrationen ins Abwasser gelangen können. Zu erwarten ist, daß einerseits durch Konzentrierung des Wassers die Neigung zur Kohäsion der Teilchen abnimmt, andererseits wird die vermehrte Anwesenheit bestimmter Kationen eine stärkere Fällung durch Entladung bewirken. Weiterhin ist dann noch an den hemmenden Einfluß stärkerer Salzkonzentrationen auf die Bakterienvermehrung zu denken. Bei den nun folgenden Versuchen wurde die Versuchsanlage so benutzt, daß die Wirkung zweier Salze auf den Reinigungsprozeß verglichen wurde. Das zur Untersuchung benutzte Abwasser enthielt 6,5 gr Gesamtrückstand im Liter. Beide Untersuchungsgefäße wurden mit

310 ccm belebtem Schlamm geimpft. Zu drei Versuchen wurde derselbe Impfschlamm verwendet, der jeweils mit 50 gr Kochsalz oder 50 gr Magnesiumsulfat versetzt wurde. Schon nach der ersten Belüftung setzten sich in dem mit Kochsalz versetzten Gefäß I weniger Flocken ab als in den mit Magnesiumsulfat versetzten, nach der zweiten und dritten Belüftung wurde dieses Verhältnis noch deutlicher.

Gefäss I. 310 ccm belebt. Schlamm + 50 gr Kochsalz.
nach der 1. Belüftung 410 ccm belebt. Schlamm + 50 gr NaCl
nach der 2. Belüftung 420 ccm belebt. Schlamm + 50 gr NaCl
nach der 3. Belüftung 440 ccm belebt. Schlamm

Gefäss II. 320 ccm belebt. Schlamm + 50 gr Magnesiumsulfat.
nach der 1. Belüftung 440 ccm belebt. Schlamm + 50 gr $MgSO_4$
nach der 2. Belüftung 480 ccm belebt. Schlamm + 50 gr $MgSO_4$
nach der 3. Belüftung 530 ccm belebt. Schlamm

Also Kochsalz hemmt hier die Flockenbildung; die Flocken waren auch im Gefäß II voluminöser und etwas bräunlich verfärbt. Das überstehende Wasser sah vollkommen gereinigt aus, während es im Gefäß I milchig-trüb erschien. Die Resultate der Wasseruntersuchung ergaben auch eine Hemmung oder Verschlechterung der Reinigung durch Kochsalz, während Magnesiumsulfat eher einen fördernden Einfluß auf den Reinigungsprozeß auszuüben schien.

Gefäss I + 50 gr NaCl.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 6 nicht entf.	8,3	8,6	1,5
		+ 50 gr NaCl		
2	nach 14 nicht entf.	16,7	7,3	0,5
		+ 50 gr NaCl		
3	nach 10 nicht entf.	18,2	6,8	0,5
Gefäss II + 50 gr $MgSO_4$.				
1	nach 6 nicht entf.	5,6	7,4	1,5
		+ 50 gr $MgSO_4$		
2	nach 14 nicht entf.	10,3	5,8	1,5
		+ 50 gr $MgSO_4$		
3	nach 10 nicht entf.	10,8	4,0	2,0

Da $MgSO_4$ ein stark wasserhaltiges Salz bildet, wurden 50 gr Kochsalz 102,5 gr $MgSO_4$ gegenübergestellt. Auch jetzt wurde mit $MgSO_4$ ein bedeutend besserer Reinigungsgrad erhalten.

Gefäss I + 50 gr NaCl + 300 ccm belebt. Schlamm.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 6 nicht entf.	22,7	9,1	1,0
Gefäss II + 102,5 gr $MgSO_4$ + 300 ccm belebt. Schlamm.				
1	nach 6 nicht entf.	14,1	6,2	2,0

Während bei NaCl — wie auch nach den vorher erwähnten Punkten angenommen werden mußte — die Neigung zur Flockenbildung abnahm und bei jedem erneuten Zusatz von NaCl eine weitere Verschlechterung des Reinigungsbildes eintrat, konnte durch Zugabe von $MgSO_4$ eine auffallende Besserung des Reinigungsgrades erzielt werden. Bei weiteren Versuchsreihen mit $FeSO_4$ und mit Liquor ferri konnte dieselbe Leistungssteigerung festgestellt werden, da das Eisen, welches in zweiwertiger Form zugesetzt wird, während des Reinigungsprozesses in $Fe(OH)_3$ überführt wird und so zur Flockenbildung beiträgt.

Bei den folgenden Versuchen wurden dem Versuchsgefäß 5 gr $FeSO_4$ beigefügt. Wohl trat im Gegensatz zum Kontrollgefäß eine geringe bräunliche Verfärbung auf, die typische Eisenfärbung, aber es zeigte sich eine erhebliche Leistungssteigerung. Der Schlamm wurde bedeutend grobflockiger und setzte sich schneller ab. Das überstehende Abwasser erschien vollkommen gereinigt.

Gefäss I + 5 gr $FeSO_4$.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 15 nicht entf.	10,3	5,0	1,5
		+ 5 gr $FeSO_4$		
2	nach 18 nicht entf.	8,6	4,1	2,0
Gefäss II.				
1	nach 15 nicht entf.	14,2	6,3	1,5
2	nach 18 nicht entf.	14,0	5,6	2,0

1 gr $FeSO_4$ auf 1 Liter Abwasser unterstützte das Belebtschlammverfahren beträchtlich. Aber auch mit 0,1 gr auf 1 Liter wurde noch eine Leistungssteigerung erzielt.

Gefäss I + 0,5 gr $FeSO_4$.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 7 nicht entf.	15,7	8,1	1,5
Gefäss II.				
1	nach 7 nicht entf.	17,6	11,7	1,5

Die gleichen guten Ergebnisse wurden mit Liquor ferri erreicht. Da keine Beeinträchtigung des Reinigungsbildes durch Eisenfärbung eintrat, zeigte sich ein Reinigungsgrad, der sich nicht von Trinkwasser unterschied. Auf 1 Liter Abwasser wurde 1 ccm Liquor ferri zugesetzt. Die Wasseruntersuchung ergab:

Gefäss I + 5 ccm Liquor ferri.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 18 nicht entf.	9,7	5,2	2,0
		+ 5 ccm Liquor ferri		
2	nach 17 nicht entf.	9,4	4,9	2,0
Gefäss II.				
1	nach 18 nicht entf.	14,8	6,7	2,0
2	nach 17 nicht entf.	15,6	7,8	1,5

Die vorangehenden Versuche bewiesen, daß durch Eisenzusätze eine Verbesserung des Belebtschlammverfahrens ermöglicht werden kann. Die bisher durchgeführten Versuche haben schon gezeigt, welch großen Einfluß die Art und Menge der industriellen Zuflüsse auf das Belebtschlammverfahren ausüben kann.

Abwässer aus Gaswerken enthalten meist eine gewisse Menge Phenol und aus der Praxis heraus ist bekannt, daß eine gewisse Menge phenolhaltigen Abwassers keinen hemmenden Charakter hat. Die nun folgenden Versuche bekräftigen, daß gewisse Gifte in kleiner Dosis nicht schädlich wirken, sondern vielmehr als Anregungsmittel betrachtet werden müssen. Von einer 1:100000 Phenollösung wurde 1 ccm auf 1 Liter zugefügt. Die Wasseruntersuchung ergab eine geringe Leistungssteigerung.

Gefäss I + 5 ccm einer 1:100000 Phenollösung.

Tag	Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 13 nicht entf.	13,4	10,2	1,5
		+ 5 ccm der Phenollösung		
2	nach 16 nicht entf.	15,2	8,8	0,5
Gefäss II.				
1	nach 13 nicht entf.	15,2	11,6	1,5
2	nach 16 nicht entf.	17,6	10,4	0,5

Am Impfschlamm war keine Veränderung festzustellen. Phenolhaltige Zuflüsse in geringen Konzentrationen können also dem Abwasser ruhig zugeführt werden.

Als nun in einer neuen Versuchsreihe 5 ccm auf 1 Liter von der 1:100000 Phenollösung zugegeben wurden, trat im ersten Versuch noch eine Verbesserung auf. Bei der erneuten Zugabe derselben Menge Phenol trat dann aber eine Schädigung der Reinigungsleistung auf.

Gefäss I + 25 ccm der 1 : 100000 Phenollösung.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 14 nicht entf.	13,4	7,1	2,0
		+ 25 ccm der Lösung		
2	nach 10 entfärbt	20,8	11,1	1,0
Gefäss II.				
1	nach 14 nicht entf.	18,6	10,0	1,0
2	nach 10 etwas entf.	15,2	7,2	1,2

Beim letzten Versuch machte das überstehende Wasser einen ziemlich ungereinigten Eindruck. Die Flocken sahen aufgelockert aus und setzten sich schlecht ab. Größere Mengen Phenol machen also eine Reinigung unmöglich. Um bei den ausgeführten Versuchen den genauen Kaliumpermanganatverbrauch zu erhalten, wurde gereinigtes Abwasser vom Kontrollversuch vor der Titration mit Phenollösung versetzt, da Phenol auch $KMnO_4$ verbraucht.

Wie schon angeführt wurde, wird berichtet, daß phenolhaltige Zuflüsse schadlos wären, wenn sie bis zu 10 % der Gesamtabwassermenge ausmachen. Es ist für die Frage aber sicherlich wertvoll, zu erfahren, in welchen Konzentrationen in den Zuflüssen Phenol enthalten ist. Stärkere Konzentrationen als die oben untersuchten werden, vor allem wenn die Zuflüsse stoßweise kommen, die Reinigung hemmen und vielleicht sogar unmöglich machen oder es werden auf Phenol besonders eingearbeitete Bakterienarten notwendig sein.

Bei den anschließenden Versuchen trat mit der gleichen Menge Chlorphenol eine hemmende Wirkung ein. Sicherlich ein Beweis dafür, welch schädigenden Einfluß Chlor auf das Belebtschlammverfahren ausübt.

Gefäss I + 5 ccm einer 1 : 100000 Chlor-Phenollösung.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 7 nicht entf.	19,1	11,8	0,5
		+ 5 ccm der Lösung		
2	nach 9 nicht entf.	16,2	8,6	1,0
Gefäss II.				
1	nach 7 nicht entf.	18,2	7,0	0,5
2	nach 9 nicht entf.	15,4	7,6	1,0

Wie Fermente den belebten Schlamm beeinflussen, soll der nächste Versuch zeigen. Benutzt wurde das eiweißspaltende Papayotinum, 1 gr auf 1 Liter wurden hiervon zugegeben. 350 ccm Impfschlamm wurden zugesetzt. Nach der Belüftung waren keine Flocken mehr vorhanden, das Abwasser schien überhaupt nicht gereinigt.

Gefäss I + 5 gr Papayotinum.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 2 entfärbt	41,2	12,6	0,5
Gefäss II.				
1	nach 14 nicht entf.	14,8	5,4	1,5

Durch die eiweißspaltende Wirkung des Fermentes wurde die Flockenbildung zerstört, der zugefügte Impfschlamm wieder aufgelöst und folglich jede Reinigung unmöglich gemacht.

In den folgenden Untersuchungen wurde versucht, ob es möglich ist, durch Zusätze von Adsorbentien das Belebtschlammverfahren zu beeinflussen. Aktive und inaktive Kohle wurden zur Untersuchung benutzt. Die ersten Versuche sollten zeigen, wie überhaupt Kohle auf den belebten Schlamm einwirkt, und es wurde Kohle in größeren Mengenverhältnissen zugegeben. Das Versuchsgefäß wurde mit 380 ccm Impfschlamm + 10 gr aktiver Kohle auf 1 Liter versetzt. Nach anfänglicher Besserung der Reinigungsleistung trat bei erneuten Zugaben wegen der zu großen Mengen eine Zerstörung der Flocken ein.

Gefäss I + 50 gr Kohle.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter	
1	nach 16 nicht entf.	8,2	5,2	1,0	+ 50 gr Kohle
2		12,2	5,6	1,5	+ 50 gr Kohle
3		22,4	8,2	1,5	
Gefäss II.					
1	nach 16 nicht entf.	13,0	6,2	1,0	
2		14,8	5,8	1,5	
3		14,2	5,6	2,0	

Bei den letzten Versuchen war wegen der Kohlefärbung die Fäulnisprobe nicht einwandfrei. Es zeigte sich zunächst eine bessere Absetzfähigkeit des Schlammes, aber schon der erste Versuch ließ erkennen, daß eine vollständige Reinigung von den zugefügten Kohleteilchen nicht erfolgte. Das überstehende Wasser hatte bläulichen Farbton und wurde erst nach 2stündigem Absitzen klar. Beim zweiten Versuch wurde das behandelte Abwasser erst nach 24stündigem Absitzen klar, und der Schlamm hatte seine grobflockige Struktur verloren. Bei der erneuten Zugabe von 50 gr. Kohle ist dann von grobflockigem Schlamm nichts mehr festzustellen, das überrstehende Wasser bleibt schmutzig-trüb. Die Verrsuche haben schon gezeigt, daß durch Kohlezugabe eine Leistungssteigerung erreicht werden kann; ferner aber haben sie ebenso wie die eingangs erwähnten Versuche der Versuchsanstalt in Waldenburg bewiesen, daß nur eine bestimmte Menge der suspendierenden Kohleteilchen vom Belebt-

schlamm aufgenommen wird und daß bei Anwesenheit von größeren Mengen eine Belebtschlammanlage zerstört wird.

Weitere Versuche wurden unternommen, um festzustellen, ob es gleich ist, welche der im Handel befindlichen aktiven Kohle man anwendet, um eine Leistungssteigerung zu erzielen, und ob man mit der billigen Lindenholzkohle eine ähnliche gute Leistung bekommen kann. Benutzt wurde die im Handel befindliche aktive Kohle:

Hydraffin E 8 von den chemischen Werken in Ratibor,

Hydraffin K 4 und FK 2643 von der Farbindustrie in Knapsack,

Norrit-Kohle.

Im ersten Versuch wurde Gefäß I 2 gr pro Liter Hydraffin E 8 und Gefäß II die gleiche Menge FK 2643 + Hydraffin K4 zugegeben. In beiden Gefäßen war vollkommene Reinigung eingetreten. Die Wasseruntersuchung bekräftigte die Gleichheit der Leistung.

Gefäss I + 10 gr Hydraffin E8.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 16 nicht entf.	6,8	5,0	1,5

Gefäss II + 10 gr Hydraffin K4 + FK2643.

1	nach 16 nicht entf.	7,2	4,8	1,5

Da die aktive Kohle wahrscheinlich gleich gute Kondensationskerne für Bakterien und organische Substanzen bildet, war kein Unterschied im Reinigungsgrad vorhanden, während beim Vergleich mit Lindenholzkohle sich ein geringer Unterschied zeigte. Gefäß I wurde 5 gr pro Liter Norritkohle zugesetzt, das andere ließ man mit der gleichen Menge Lindenholzkohle arbeiten. Nach der Belüftung setzten sich im Gefäß mit der inaktiven Lindenholzkohle die Flocken etwas schlechter ab, und das behandelte Abwasser erschien durch die Kohle leicht getrübt, allerdings ergab die Wasseruntersuchung keine großen Unterschiede in der Reinigung.

Gefäss I + 25 gr Lindenholzkohle.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter	
					Lind.-H.-Kohle
1	nach 18 nicht entf.	9,4	5,2	1,5	+ 25 gr
2		9,2	7,6	1,5	

Gefäss II + 25 gr Norritkohle.

1	nach 18 nicht entf.	8,2	4,4	fast 2,0	+ 25 gr
2		8,6	5,8	1,5	Norritkohle

Die vorangehenden Versuche zeigen, daß durch Kohleteilchen die Flockenbildung angeregt, die Absitzfähigkeit erhöht und dadurch bedingt überhaupt eine Steigerung der Reinigungsleistung möglich sein wird. Bisher war mit ziemlich großen Kohlezugaben gearbeitet worden und trotz der erzielten Vorteile mußte festgestellt werden, daß eine

Belebtschlammanlage das Abwasser von zu großen Mengen von Kohle nicht reinigen kann. Für die Praxis müßten natürlich weit geringere Mengen genügen, damit die Kohlezugaben, die eine Verbesserung des Reinigungsgrades erzielen, auch wirtschaftlich tragbar sind. Deshalb erhielt nun einmal in einer Versuchsreihe Gefäß I einen Zusatz von 0,1 gr pro Liter Hydraffin K4.

Gefäss I + 0,5 gr Hydraffin K4.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 6 nicht entf.	15,4	7,2	1,5
2	nach 6 nicht entf.	17,2		1,5
3	nach 6 nicht entf.	19,8	11,4	1,0
Gefäss II.				
1	nach 6 nicht entf.	19,6	10,8	1,5
2	nach 6 nicht entf.	18,4		1,5
3	nach 6 nicht entf.	20,6	12,0	1,0

Wie Versuch beweist, trat zunächst eine Leistungssteigerung auf. Dann ließ aber die Steigerung merklich nach, da die Kohleteilchen nicht mehr ihre Adsorbtivwirkung ausüben konnten.

In einem weiteren Versuch wurde dem mit Kohle versetzten Impfschlamm nochmals eine geringe Menge 0,02 gr pro Liter Kohle zugegeben, um zu prüfen, ob diese geringe Menge genügen würde, den mit Kohle versetzten belebten Schlamm wieder zur Leistungssteigerung anzuregen. Wie die unten angeführten Resultate zeigen, konnte eine geringe Verbesserung erzielt werden. Wird dagegen frischem Impfschlamm nur die geringe Menge von 0,02 gr pro Liter zugesetzt, so tritt im Gegensatz zum vorangehenden Versuch keine Verbesserung des Reinigungsgrades ein.

Gefäss I + 0,1 gr Hydraffin K4.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter
1	nach 11 nicht entf.	17,4	8,6	1,5
Gefäss II.				
1	nach 11 nicht entf.	19,0	10,6	1,0
Gefäss I	frischer Impfschlamm	+ 0,1 gr Hydraffin K4.		
1	nach 6 nicht entf.	18,4	7,0	1,0
Gefäss II.				
1	nach 6 nicht entf.	18,8	7,0	1,0

Es ist anzunehmen, daß beim ersten Versuch, wo die Schlammflocken an Kohleteilchen gesättigt waren, weiterhin zugesetzte Kohlepartikelchen zur gesteigerten Flockenbildung geführt haben, während beim letzten Versuch die Kohleteilchen nur die schon gebildeten Schlammpartikelchen adsorptiv anlegten.

Es konnte gezeigt werden, daß auch mit geringen Mengen aktiver

Kohle eine vorübergehende Besserung der Reinigungsleistung erzielt werden kann. Es wurde nun nochmals versucht, ob mit der billigen inaktiven Kohle die gleichen Ergebnisse erreicht werden können. Zugesetzt wurde je 0,1 gr pro Liter Lindenholzkohle und die gleiche Menge Hydraffin K4 und es war kein sichtbarer Unterschied in der Reinigungsleistung vorhanden. Die Wasseruntersuchung ergab dann einen geringen Vorteil bei der Anwendung aktiver Kohle. Aber schon der zweite Versuch ergab, daß mit einem Zusatz von 1 gr inaktiver Kohle eine bessere Reinigung als mit 0,5 gr aktiver Kohle erzielt wurde.

Gefäss I + 0,5 gr Lindenholzkohle.

Fäulnis Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	K-Verbrauch mgr % $KMnO_4$	Kjeldahl mgr % N	Nitrate mgr Nitrate pro Liter	
					Lind.-H.-Kohle
1	nach 13 nicht entf.	19,6	10,4	1,0	+ 1 gr
2	nach 6 nicht entf.	15,8	10,0	1,5	
Gefäss II + 0,5 Hydraffin K4.					Hydraff. K4
1	nach 13 nicht entf.	18,8	8,2	1,0	+ 0,5 gr
2	nach 6 nicht entf.	17,2	12,8	1,0	

Es war vorauszusehen, daß bei gleichen Mengenverhältnissen die Adsorptions- und Kohäsionskräfte der aktiven Kohle die inaktive übertrafen. Es ist für die Praxis aber sicherlich wertvoll, daß etwas größere Mengen der preiswerteren Lindenholzkohle den gleichen Reinigungsgrad erreichen.

Da phenolhaltige Abwässer durch Kohle entgiftet werden können, wurde noch untersucht, welchen Einfluß diese beiden Faktoren gemeinsam auf den aktivierten Schlamm ausüben. Beide Gefäße wurden mit 10 ccm der 1:100000 Phenollösung versetzt und Gefäß I erhielt noch einen Zusatz von 5 gr pro Liter Norritkohle.

Gefäss I + 10 ccm 1 : 100000 Phenollösung + 25 gr Norritkohle.

Methylenblau entfärbt nach Tag	Stunde	mgr % $KMnO_4$	mgr % N	mgr Nitrate pro Liter
1	nach 18 nicht entf.	5,3	4,2	2,0
Gefäss II + 10 ccm 1 : 100000 Phenollösung.				
1	nach 18 nicht entf.	9,8	11,2	2,0

Nach $1^1/_2$stündiger Ruhigstellung war im Gefäß I vollkommenste Reinigung vorhanden. Hiermit konnte nochmals festgestellt werden, daß Kohle wie auch Phenol die Reinigung fördern können und vielleicht beide gemeinsam sich noch ergänzen.

Zusammenfassung.

Die durchgeführten Untersuchungen sollen ein Beweis dafür sein, in welch großem Maße die Arbeit einer Belebtschlammanlage von der Art und der Konzentration des Abwassers abhängig ist.

Die Vorversuche haben diese Abhängigkeit für die Belüftungszeit und die Rücklaufschlammenge erneut erwiesen.

Weiterhin wurde nochmals der günstigste Ph Wert bestimmt. Es konnte festgestellt werden, daß der beste Reinigungsgrad bei Ph 7 liegt, leicht alkalische Reaktionen bis Ph 8 arbeiten noch befriedigend, stärkere alkalische oder saure Reaktionen hemmen die Reinigung oder machen sie schließlich unmöglich.

Starke Salzkonzentrationen stören die Flockenbildung und dadurch bedingt die Reinigung.

Durch Zusätze von Sulfaten oder Liquor ferri konnte dagegen eine auffallende Verbesserung erzielt werden.

Die Versuche mit Phenol ergaben die Feststellung, daß dieses Gift in geringer Konzentration die Leistung nicht stört, sondern etwas fördert, stärkere Konzentrationen machen natürlich eine Arbeit unmöglich.

Durch Kohlezugaben war es ebenfalls möglich, eine Verbesserung des Reinigungsgrades zu erreichen. Die Absitzfähigkeit wurde erhöht, die Flockenbildung vermehrt, und es zeigte sich ferner, daß inaktive Kohle der aktiven in ihrer Leistung fast gleichkommt.

Eiweißspaltende Fermente lösen die schon gebildeten Flocken wieder auf und machen folglich eine Reinigung unmöglich.

Literatur-Verzeichnis

Licht- und Schattenseiten der Abwasserreinigung mit aktiviertem Schlamm von
Harrison P. Eddy, Boston, übertragen von Dr. Ing. Imhoff. Gesundheits-Ing. 1922, 2. Heft, S. 13—19.

Untersuchungen über das Wesen des Belebtschlammverfahren.
Adolf Seiser, Gesundheits-Ing. 1928, 51, S. 253, 273.

Versuche mit dem Verfahren der Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm in Waldenburg.
G. Jordan, Gesundheits-Ing. 1928, 51, S. 150.

Das Schlammbelebungsverfahren von
Dr. F. Sierp, Bauamt und Gemeindebau. 5. Sept. 1930. Gesundheits-Ing. 1931, 3. Heft, S. 45.

Über die Abwasserreinigung mit aktiviertem Schlamm nach Versuchen mit Münchener Kanalwasser.
Prof. Dr. Martin Strell, Gesundheits-Ing. 1927, 10. Heft, S. 179—182.

Fortschritte der Abwasserrreinigung mit belebtem Schlamm.
Dr. Ing. Imhoff, Gesundheits-Ing. 1924, Heft 29, S. 582. Techn. Gemeindeblatt 1924, Nr. 11/12, S. 132—136.

Die Rolle des Eisens im belebten Schlamm.

A. Wolmann, Baltimoore Engineering New-Record vom 5. Febr. 1927, S. 202—204. Gesundheits-Ing. 1927, 26. Heft.

Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm.
Dr. Felix Kloppstock, Centralblatt f. Bakt. u. Hyg. II. Abt. Bd. 79, Nr. 23/26, S. 481—505 (1929). Gesundheits-Ing. 1930, 17. Heft, S. 269.

Unterrsuchungen über Abwasserreinigung mit aktiviertem Schlamm.
A. M. Buswell, Mitteilung Nr. 18, Gesundheits-Ing. 1924, 10. Heft, S. 76—78.

Über Abwasserreinigung mit aktiviertem Schlamm.
Dr. O. Kammann, Techn. Gemeindeblatt 1924, Nr. 1/2, S. 13—16. Gesundheits-Ing. 1924, Heft 32, S. 353.

Die Kläranlage in Iserlohn als erste Schlammbelebungsanlage mit Faulgasantrieb.
Ober-Ing. W. Schmidt, Techn. Gemeindeblatt v. 5. Juni 1930, S. 133—138, Gesundheits-Ing. 1930, 39. Heft, S. 606.

Die Beseitigung und Verwertung der Abfallstoffe.
Dr. O. Acklin, Zentralblatt für die ges. Hygiene 1931, Bd. 23, Heft 3 u. 4, S. 97—136 u. 177—211.

Die Rolle der Protozoen im aktiviertem Schlamm.
Robert Cramer, Ind. Chem. 1931, 23, 309—313. Zentralbl. 1931. S. 410.

Der Einfluß der Chlorung auf den Belebtschlammprozeß.
H. D. Bell, Surweyor 1931 I, S. 217—218. Zentralbl. 1931, 3. 13/14, S. 603—604.

Absorptionsversuche mit belebtem Schlamm.
O. Herb, Arch. f. Hyg. 1928, Bd. 100, S. 112—120, Zentralblatt 1929, Heft 3/4, S. 120.

Versuche über das biologische Prinzip in der Abwasserreinigung.
Gerhard Wagner, Festschrift 25 Jahre Techn. Hochschule zu Danzig 1929, 1—14, Zentralblatt 1930, S. 505.

Die Reinigung städtischer Abwässer unter Berücksichtigung ausgeführter Versuche.
W. Müller, Gesundheits-Ing. 1931, I, S. 65.

Über den Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Wirksamkeit und Biologie des Belebtschlammes.
K. Viehl, Zentralblatt II, 86, 34—43 (1932).

Der Neubau der Belebtschlammanlage der Abwasserkläranlage zu Erfurt.
G. Straßburger, Gas- und Wasserfach 1932, 101—108.

Wirtschaftlichkeit und Anwendungsbereich des aktivierten Schlammes.
Otto Mohr, Gesundheits-Ing. 1930, I, 261—267.

Die Reinigung städt. Abwässer mit Belebtschlamm.
W. Müller, Gesundheits-Ing. 1931, I, 65.

Die Kläranlage Essen-Rellinghausen.
Franz Fries, Gesundheits-Ing. 1931, 661—670 u. 681—685.

Lebenslauf

Am 14. September 1909 wurde ich als Sohn des verstorbenen Postinspektors Heinrich Korte und seiner Ehefrau Alma, geb. Reinke in Kamen/Westfalen geboren. Nach vierjährigem Besuch einer Kamener Volksschule kam ich auf das Realprogymnasium zu Kamen und nach Absolvierung dieser Schule auf das Hindenburgrealgymnasium zu Dortmund, wo ich Ostern 1929 das Reifezeugnis erhielt. In Greifswald begann ich mit dem Sommersemester 1929 das Medizinstudium, mein II. Semester verbrachte ich in Münster und ging dann nach Würzburg, wo ich im Oktober 1931 die ärztliche Vorprüfung bestand. Während der ersten beiden klinischen Semester studierte ich in Graz und brachte dann am 20. Dezember 1934 mit dem Staatsexamen mein Studium in Münster zum Abschluß.